

三相电源测量 基础知识

应用指南

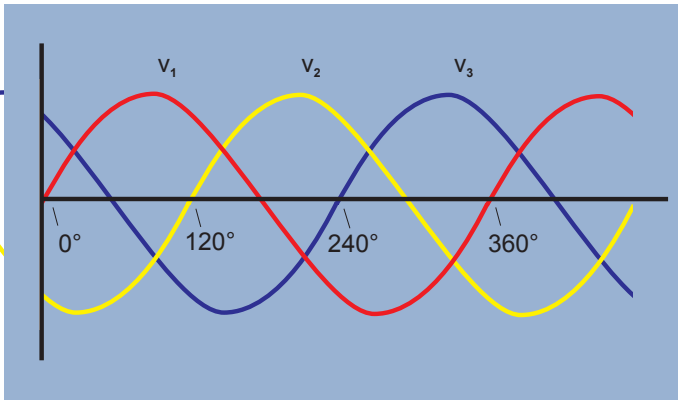


图 1. 三相电压波形

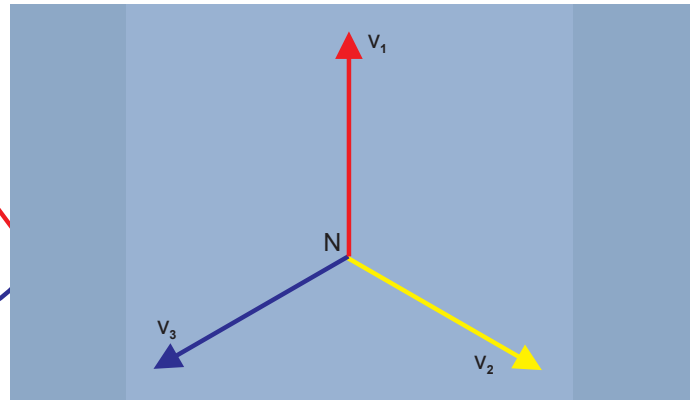


图 2. 三相电压矢量

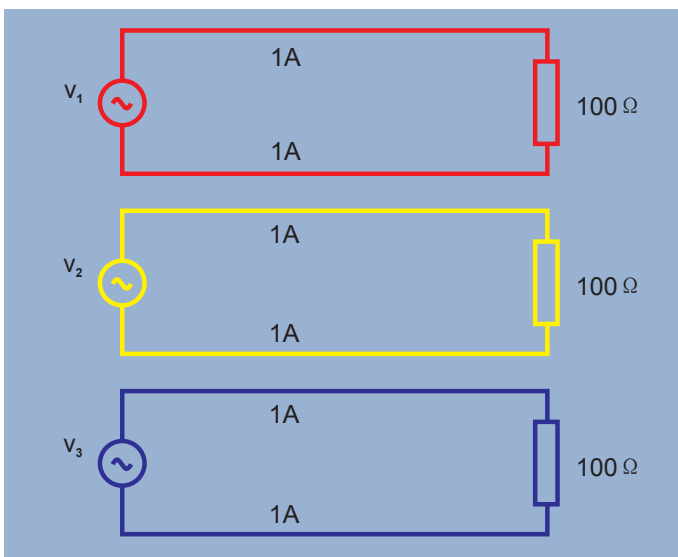


图 3. 三个单相电源 – 6 个单位损耗

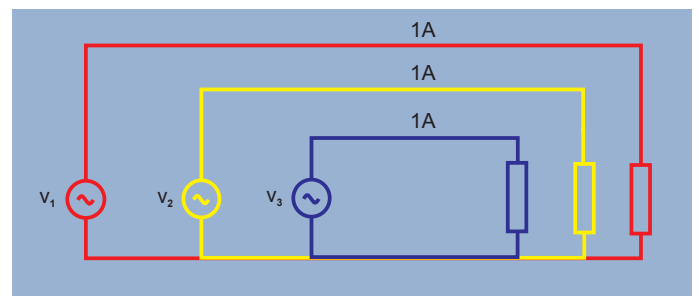


图 4. 三相电源，均衡负载 – 3 个单位损耗

简介

单相电用来为民用和办公电器供电，而三相交流 (a.c.) 系统则广泛用于配电及直接为功率更高的设备提供电力。

本技术指南介绍了三相系统的基本原理以及可能的不同测量连接之间的差异。

三相系统

三相电由频率相同、幅度类似的三个 AC 电压组成。每个 ac 电压“相位”与另一个 ac 电压相隔 120° (图 1)。这可以通过图形方式，使用波形和矢量图 (图 2) 进行表示。

使用三相系统的原因有两个：

1. 可以使用三个矢量间隔的电压，在马达中产生旋转磁场。从而可以在不需要额外绕组的情况下启动马达。
2. 三相系统可以连接到负载上，要求的铜缆连接数量 (传输损耗) 是其它方式的一半。

我们看看三个单相系统，每个系统为一个负载提供 100W 的功率 (图 3)。总负载是 $3 \times 100\text{W} = 300\text{W}$ 。为提供电力，1 安培电流流经 6 根线，因此有 6 个单位的损耗。也可以把三个电源连接到一个公共回程上，如图 4 所示。当每个相位中的负载电流相同时，负载被认为是均衡的。在负载均衡、且三个电流相位彼此位移 120° 的情况下，任何时间点上的电流之和都为零，回程线路中没有电流。

在三相 120° 系统中，要求 3 根线传送功率，而在其它方式下则要求 6 根线。要求的铜缆数量减少了一半，导线传输损耗也将减半。

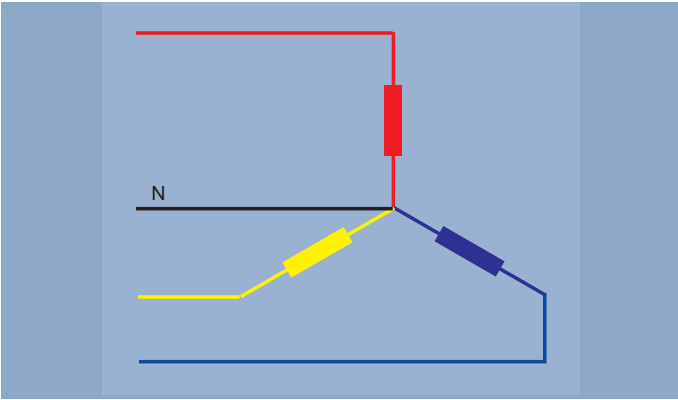


图 5. Y 形接法或星形接法 – 三相四线

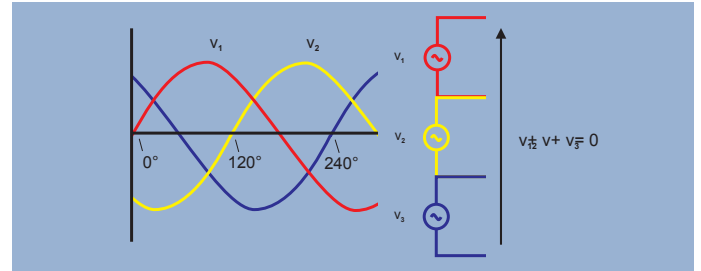


图 6. 任意时间的瞬时电压之和为零

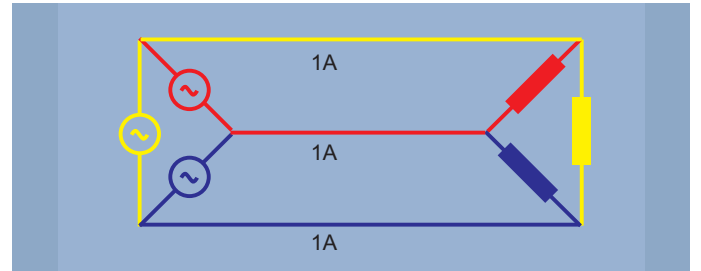


图 7. 三角形接法 – 三相三线

Y 形接法或星形接法

拥有公共连接的三相系统通常如图 5 的示意图所示，称为“Y 形或星形”接法。

公共点称为中性点。为安全起见，这个点通常在电源上接地。在实践中，负载并不是完美均衡的，要使用第四条“中性”线传送得到的电流。如果本地法规和标准允许，中性导体可能会比三条主导体小得多。

三角形接法

上面讨论的三个单相电源也可以串联起来。在任何时点上，三个 120° 相移电压之和都是零。如果和为零，那么两个端点都处在相同的电位，可以联接在一起。这种接法如图 7 中的示意图所示，使用希腊字母 Δ 表示，称为三角形接法。

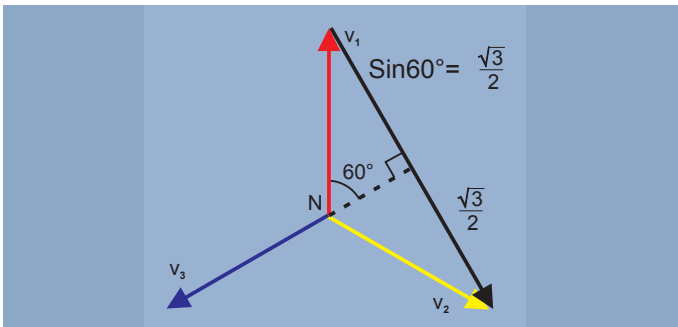
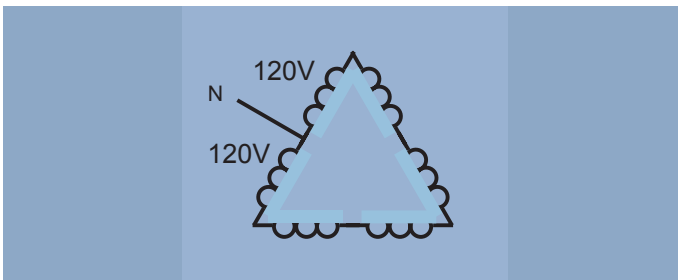
图 8. $V_{\text{phase-phase}} = \sqrt{3} \times V_{\text{phase-neutral}}$ 

图 9. 三角形接法，采用“分相”或“中心分接”线圈

Y 形接法和三角形接法比较

Y 形接法用来为家庭和办公中使用的日常单相设备供电。单相负载连接到线路和中性线之间 Y 形的一条腿上。每个相位的总负载尽可能多地共享，以便为主三相电源提供均衡负载。

Y 形接法还可以为更高电压上更高的功率负载提供单相或三相电。单相电压是相位到中性电压。另外还提供较高相间电压，如图 8 中的黑色矢量所示。

三角形接法最常用的情况是为功率较高的三相工业负载供电。然而，通过沿着变压器线圈进行连接或“分接”，可以从三相三角形电源中获得不同的电压组合。例如，在美国，240V 三角形系统可以有分相或中心分接线圈，提供两个 120V 电源（图 9）。为安全起见，中心分接点可以在变压器上接地。在中心分接点和三角形接法的第三条“高脚”之间，还提供了 208V 电压。

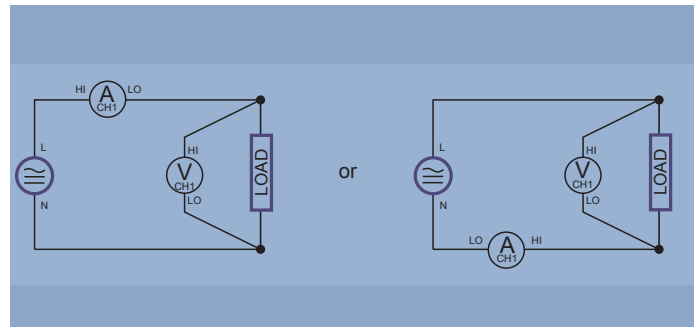


图 10. 单相双线和 DC 测量

功率测量

在交流系统中，功率使用功率表测量。现代数字采样功率表，比如任何泰克功率分析仪，把多个电压和电流的瞬时样点乘在一起，计算瞬时功率，然后取一个周期中瞬时功率的平均值，表示有功功率。功率表将在广泛的波形、频率和功率因数范围上，准确测量有功功率、视在功率、无功负载、功率因数、谐波等等。为使功率分析仪提供良好的结果，必须能够正确识别布线配置，正确连接功率分析仪。

单相功率表连接

只要求一个功率表，如图 10 所示。系统与功率表电压端子和电流端子的连接简单明了。功率表的电压端子透过负载并联，电流通过与负载串联的电流端子输入。

单相三相连接

在这个系统中，如图 11 所示，从一个中心分接的变压器线圈中产生电压，所有电压都同相。这在北美住宅应用中十分常见，其中提供了一个 240 V 电源和两个 120V 电源，在每条腿线上可能有不同的负载。为测量总功率和其它数量，应如图 11 所示连接两个功率表。

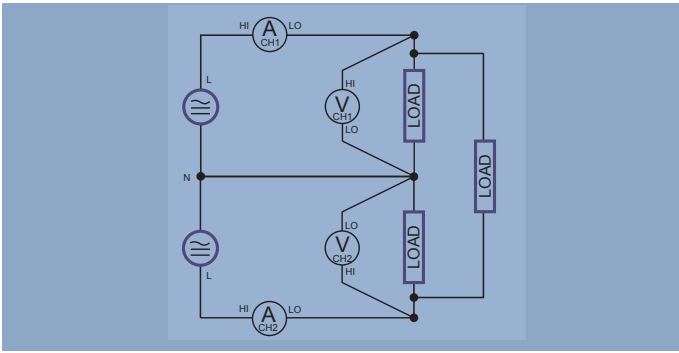


图 11. 单相三线

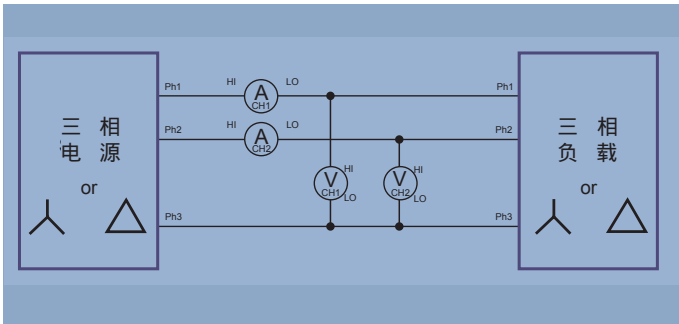


图 13. 三相三线、两个功率表方法

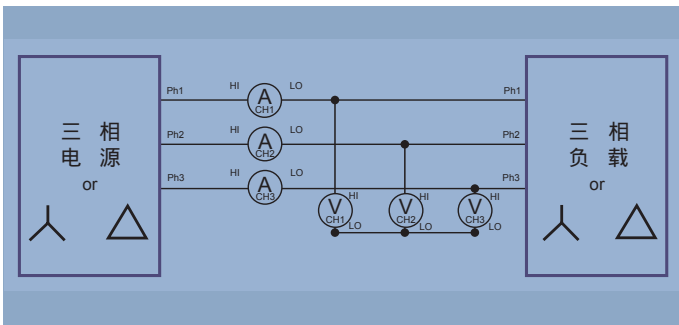


图 14. 三相三线 (三个功率表方法, 把分析仪设置成三相四线模式)

三相三线接法 – 两个功率表方法

在有 3 根线时，要求两个功率表测量总功率。根据图 11 所示方法连接两相到功率表的电压端子。

三相三线接法 – 三个功率表方法

如前所述，尽管测量三线系统中的总功率只要求两个功率表，但有时可以方便地使用三个功率表。在如图 11 所示的接法中，通过把所有三个功率表的电压低端子连接在一起，创建一个假中性线。

布朗德尔定理： 要求的功率表数量

在单相系统中，只有两根线。功率使用一个功率表测量。在三线系统中，要求两个功率表，如图 12 所示。

一般来说，要求的功率表数量 = 线数 - 1

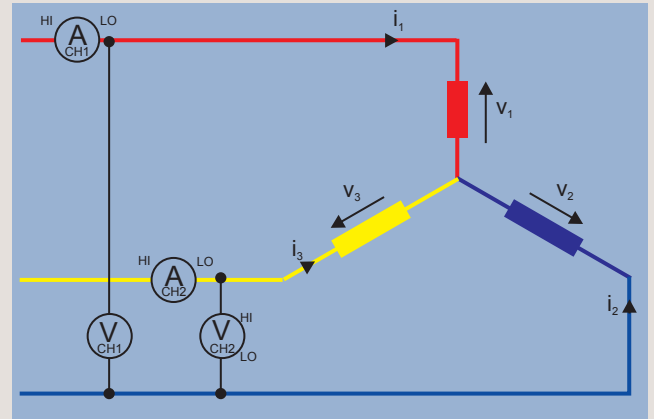


图 12. 三线 Y 形系统

验证三相 Y 形系统

功率表测量的瞬时功率是瞬时电压和电流样点之积。

$$\text{功率表 1 读数} = i_1 (v_1 - v_3)$$

$$\text{功率表 2 读数} = i_2 (v_2 - v_3)$$

$$\text{读数之和 } W_1 + W_2 = i_1 v_1 - i_1 v_3 + i_2 v_2 - i_2 v_3$$

$$= i_1 v_1 + i_2 v_2 - (i_1 + i_2) v_3$$

(根据基尔霍夫定律， $i_1 + i_2 + i_3 = 0$, so $i_1 + i_2 = -i_3$)

$$2 \text{ 个读数 } W_1 + W_2 = i_1 v_1 + i_2 v_2 + i_3 v_3 = \text{总瞬时功率。}$$

三线三个功率表的接法的优势在于，它指明每一个相的功率（这在两个功率表的接法中是不可能的）以及相到中线电压。

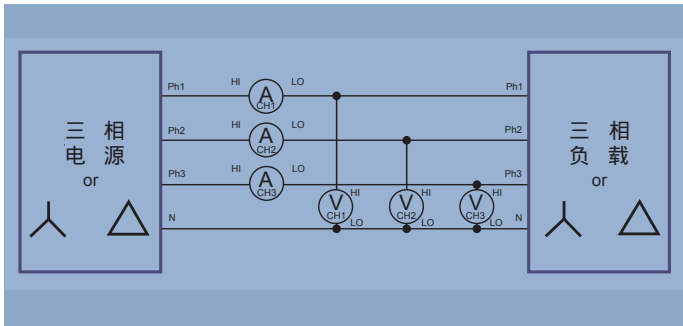


图 15. 三相四线 (三个功率表方法)

三相四线接法

测量四线系统中的总功率要求三个功率表。测得的电压是真实的相电压。通过使用矢量数学运算，可以从相电压的幅度和相位中准确地计算出相间电压。现代电源分析仪也使用基尔霍尔定律，计算流过中线的电流。

配置测量设备

如侧栏所示，在线数一定 (N) 时，要求 N-1 个功率表测量整体电能质量，如功率。必须确保拥有足够数量的通道，且正确连接。

现代多通道功率分析仪将使用相应的内置公式，直接计算整体电能质量，如瓦特、伏特、安培、伏安和功率因数。公式根据布线配置选择，因此设置布线对获得良好的总功率测量至关重要。拥有矢量功能的功率分析仪还将把相电压 (或 Y 形) 分量转换成线电压 (或三角形) 分量。只能使用因数 3，实现系统间转换，或对均衡线性系统上只有一个功率表的测量定标。

了解布线配置、正确进行连接对功率测量至关重要。熟悉常用的布线系统，记住布朗德尔定理，将帮助您获得相应的连接以及可以依赖的结果。

泰克科技(中国)有限公司
上海市浦东新区川桥路1227号
邮编: 201206
电话: (86 21) 5031 2000
传真: (86 21) 5899 3156

泰克北京办事处
北京市海淀区花园路4号
通恒大厦1楼101室
邮编: 100088
电话: (86 10) 5795 0700
传真: (86 10) 6235 1236

泰克上海办事处
上海市徐汇区宜山路900号
科技大楼C楼7楼
邮编: 200233
电话: (86 21) 3397 0800
传真: (86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处
深圳市福田区南园路68号
上步大厦21层G/H/I/J室
邮编: 518031
电话: (86 755) 8246 0909
传真: (86 755) 8246 1539

泰克成都办事处
成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编: 610063
电话: (86 28) 6530 4900
传真: (86 28) 8527 0053

泰克西安办事处
西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦20层K座
邮编: 710065
电话: (86 29) 8723 1794
传真: (86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处
武汉市解放大道686号
世贸广场1806室
邮编: 430022
电话: (86 27) 8781 2760/2831

泰克香港办事处
香港九龙尖沙咀弥敦道132号
美丽华大厦808-809室
电话: (852) 2585 6688
传真: (852) 2598 6260

如需进一步信息

泰克维护着完善的由应用指南、技术简介和其它资源组成的资料库, 并不断扩大, 帮助工程师走在技术发展前沿。详情请访问 www.tektronix.com。



© 2013 年泰克公司版权所有, 侵权必究。泰克产品受到已经签发和正在申请的美国专利和国外专利保护。本文中的信息代替所有以前出版的材料中的信息。本文中的技术数据和价格如有变更, 恕不另行通知。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。本文中提到的所有其它商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。